



Verkehrsökonomie

Elemente quantitativer Verkehrswirtschaft

Von

Prof. Dr. Klaus-Jürgen Richter

Technische Universität Dresden

5., überarbeitete Auflage

R. Oldenbourg Verlag München Wien

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Richter, Klaus-Jürgen:

Verkehrsökonomie / von Klaus-Jürgen Richter. - München ;
Wien : Oldenbourg.

Früher u.d.T.: Richter, Klaus-Jürgen: Transportökonomie

Elemente quantitativer Verkehrswirtschaft. - 5., überarb. Aufl.
- 1995

ISBN 3-486-22858-7

© 1995 R. Oldenbourg Verlag GmbH, München

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Gesamtherstellung: R. Oldenbourg Graphische Betriebe GmbH, München

ISBN 3-486-22858-7

Vorwort

Verkehrsökonomie befaßt sich mit der mathematischen Formulierung verkehrswirtschaftlicher Zusammenhänge. Die dabei entstehenden mathematischen Modelle enthalten Konstanten in Form von Koeffizienten und von Parametern. Zur Bestimmung dieser Konstanten wird auf statistische Daten zurückgegriffen. Somit verbindet die Verkehrsökonomie wie die Ökonometrie generell wirtschaftswissenschaftliche Aussagen mit mathematischen Strukturen und statistischen Datenmengen.

Arbeitsfeld und Vorgehensweise sind ungebrochen aktuell. Das folgt nicht zuletzt aus der Dimension der anstehenden Verkehrsprobleme und aus den Voraussetzungen wie auch den Konsequenzen möglicher Lösungen (vgl. EIPOS 1994). Insbesondere die immer wieder erforderlichen Prognosen der Verkehrsentwicklung stellen hohe Anforderungen an die verkehrsökonomischen Methoden.

Die grundlegenden ökonomischen Methoden, vor allem die verschiedenen Schätzmethoden zur numerischen Bestimmung von Modellparametern aus begrenzten Datenmengen, sind in der Fachliteratur ausführlich dargestellt (vgl. z.B. SCHNEEWEISS 1978, HÜBLER 1989, ASSENMACHER 1991). Sie werden in diesem Buch nur im Anhang und in Form einer kurzen Einführung behandelt. Als Hauptinhalt der Verkehrsökonomie werden mathematische Strukturen und Modelle beschrieben, deren Spezifik aus dem Verkehrsprozeß und aus der Verkehrswirtschaft folgt. Besondere Bedeutung kommt den Matrixmodellen zu, die es gestatten, Ströme von Verkehrsobjekten, beispielsweise Reisendenströme und Güterströme sowie Nachrichtenströme, problemadäquat zu beschreiben und zu modellieren. Dieser Ansatz hat zur Folge, daß die Grenzen der allgemeinen Ökonometrie einerseits nicht ausgeschritten und andererseits, vor allem hinsichtlich der dargestellten Modelltypen, übertreten werden. Deshalb erhielt das Buch einen erläuternden Untertitel.

Der vorliegenden Ausgabe des Buches sind vier deutschsprachige Auflagen vorangegangen. Sie erschienen 1966, damals noch unter dem Titel "Transportökonomie" in Berlin, erstmals als "Verkehrsökonomie" 1969 in Berlin und 1970 in Köln/Opladen, weiter 1971/72 zweibändig und 1975 bis 1978 vierbändig wiederum in Berlin. Außerdem gab es eine polnische Ausgabe (Warschau 1971) und eine russische Ausgabe (Moskau 1983). Alle bisherigen Ausgaben wie auch die nunmehr vorliegende neue Fassung sind nach dem gleichen Prinzip gestaltet. Wesentliche Veränderungen betreffen vor allem die Gewichtsverteilungen zwischen den einzelnen Kapiteln und natürlich die Aufnahme jeweils neuer verkehrsökonomischer Verfahren und Ergebnisse.

Dennoch muß gesagt sein, daß die gedankliche Grundstruktur des Buches beibehalten wurde. Sie ist durch einen starken Bezug zur Wirtschafts kybernetik und zum Systemgedanken geprägt. Damit tritt auch die Verkehrsmatrix deutlich in den Vordergrund. Die Vermittlung eines Überblicks mit Elementen eines Lehrbuches dominiert die Ge-

samtanlage des Buches. Um die Kontinuität des Stoffes zu dokumentieren, konnte auch auf ältere Quellen nicht verzichtet werden. Sie werden dem Leser, der sich für die Entwicklung eines Gebietes interessiert, nicht unwillkommen sein, stellen allerdings keine unbedingte Voraussetzung für das Verständnis des Buches dar.

In der deutschsprachigen Terminologie ist es nicht immer leicht, Verkehr und Transport sauber voneinander zu scheiden. Hier wird mit Ausnahme von Zitaten immer der Verkehrsbegriff benutzt, einfach der Einheitlichkeit wegen und auch um den Preis von mitunter wenig üblichen Begriffen.

Ich verdanke es dem Angebot und dem Zuspruch von Herrn Dipl. Vw. Martin Weigert vom Oldenbourg Verlag, daß ich nach längerer Pause diese fünfte Auflage geschrieben und bearbeitet habe. Ganz besonders danke ich meiner Frau für ihre gewissenhafte und unermüdliche Arbeit zur Herstellung des Manuskriptes. Für die kritischen Hinweise einer hoffentlich geneigten Leserschaft bedanke ich mich bereits heute.

Klaus-Jürgen Richter

Inhalt

Vorwort	V
1. Verkehrsökonomische Grundlagen	1
1.1 Modellbegriff und Modellbestandteile	1
1.2 Grundformen ökonomischer Modellex	10
1.3 Verkehrsstrommatrix als Strukturrahmen	19
1.4 Zusammenfassung	20
2. Statistische Grundlagen	21
2.1 Gegenstand der multivariaten Analyse	21
2.2 Datenmatrix	22
2.3 Datentransformation	26
2.4 Datenaggregation	28
2.5 Multivariate Gruppierung (Clustering)	30
2.6 Clusterung regionaler Objekte	40
2.7 Zeitcluster	45
2.8 Zusammenfassung	54
3. Verkehrsmatrix	56
3.1 Überblick und Definitionen	56
3.2 Verkehrsnetzmatrix und Verkehrsrelationsmatrix	64
3.3 Verkehrsstrommatrix	88
3.4 Kapazitätsmatrix	100
3.5 Qualitative Verkehrsstrommatrix (Filterung I)	105
3.6 Bewertungsmatrix	110
3.7 Bildung regionaler Einheiten	120
3.8 Zusammenfassung	124
4. Organisiertheitsgrad in Verkehrssystemen	126
4.1 Organisiertheit als Systemmerkmal	126
4.2 Informationsentropie und Organisiertheitsmaß	127
4.3 Interpretation und Anwendungsfälle	136
4.4 Zusammenfassung	147

5. Verkehrsökonomisches Verflechtungsmodell (Input-Output-Modell)	148
5.1 Modellansatz und Modellkoeffizienten	148
5.2 Verkehrssektor im Verflechtungsmodell	156
5.3 Zwei-Sektoren-Modell	163
5.4 Korrektur der Koeffizienten	166
5.5 Dynamische Modellansätze	169
5.6 Verkehrsentwicklungsmodell	174
5.7 Qualitatives Verflechtungsmodell (Filterung II)	189
5.8 Ökonomisch-regionales Modell	194
5.9 Zusammenfassung	207
6. Verkehrsnachfragemodelle	209
6.1 Kenngrößen des Verkehrsprozesses	209
6.2 Aggregierter Modellansatz	215
6.3 Elastizitätsmodell der Verkehrsnachfrage	225
6.4 Ableitung der Verkehrsnachfrage aus dem Verflechtungsmodell (Input-Output-Modell)	228
6.5 Ableitung der Verkehrsnachfrage aus der Verkehrsstrommatrix	237
6.6 Probleme der Nachfrageprognose	252
6.7 Zusammenfassung	258
7. Simulationsmodelle verkehrswirtschaftlicher Prozesse	259
7.1 Simulationsprinzip	259
7.2 Elemente der systemdynamischen Simulation	267
7.3 Modellstrukturen	270
7.4 Zusammenfassung	279
ANHANG: Ökonometrische Schätzmethoden	281
A 1 Einfaches lineares Modell	281
A 2 Multiples lineares Modell	288
A 3 Lineares Gleichungssystem	299
Literaturverzeichnis	305
Sachregister	311

1. Verkehrsökonomische Grundlagen

1.1 Modellbegriff und Modellbestandteile

Der Begriff "Ökonometrie" umschließt zwei Bestandteile, die über das Wesen dieser Disziplin Auskunft geben. Der eine Bestandteil ist die Ökonomie oder Wirtschaft, auf deren Tatbestände und Prozesse die ökonometrischen Untersuchungen gerichtet sind. Der andere Bestandteil bringt die Art dieser Untersuchungen zum Ausdruck, die darin besteht, daß metrische, also im allgemeinen Sinne meßbare Tatbestände und Prozesse der Ökonomie untersucht und dadurch quantitative Gesetzmäßigkeiten gefunden werden. In diesem Sinne befaßt sich die Ökonometrie mit der Ermittlung der im Wirtschaftsleben vorherrschenden quantitativen Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden (LANGE 1968). Sie wird auch benutzt, um Hypothesen der Wirtschaftstheorie auf ihre Übereinstimmung mit der Wirklichkeit zu prüfen.

Die statistischen Wurzeln der Ökonometrie sind somit unverkennbar (vgl. z.B. FOSSATTI 1960 und KÁDAS 1966). Ungeachtet der verschiedenen Erklärungen des Begriffes "Ökonometrie" ist unverkennbar, das Ökonomie, Statistik und Mathematik die Quellen der Ökonometrie bilden. Eine mengentheoretische Darstellung dieses Sachverhalts gibt Bild 1.1.

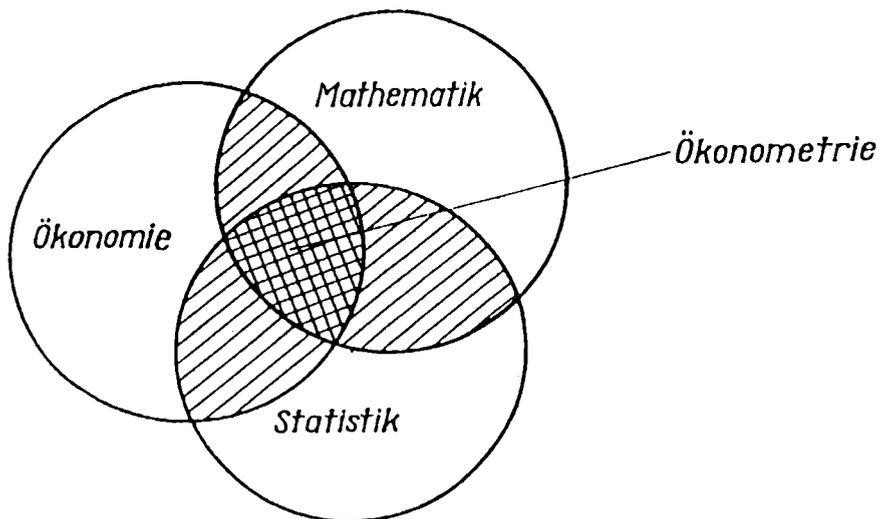


Bild 1.1

Quellen und Bestandteile der Ökonometrie

1. Entwicklung von ökonomischen Modellen für ökonomische Tatbestände und Prozesse
2. Gewinnung (im engeren Sinne) und vor allem Beurteilung der Ausgangsgrößen, der daraus abgeleiteten Modellparameter sowie der Modellresultate
3. Interpretation der Modellresultate als Grundlage ökonomischer Entscheidungen.

Im vorliegenden Buch werden insbesondere der erste und der dritte Komplex behandelt. Der zweite Komplex, der vor allem die ökonomischen Schätzmethoden zum Gegenstand hat, wird lediglich im Anhang dargestellt. Ausführlich sind diese Methoden in der ökonomischen Grundlagenliteratur beschrieben (vgl. u.a. LESERER 1980, HÜBLER 1989, ASSENMACHER 1991).

Hier geht es ausschließlich um Methoden, die für die Verkehrswirtschaft von Interesse sind. Da Verkehr notwendig ist, um räumliche Interaktionen zu ermöglichen, gibt es natürlich Bezüge zu entsprechenden regionalwissenschaftlichen Disziplinen (vgl. Jahrbuch 1993, ANSELIN 1988, GRIFFITH 1988), die hier jedoch nicht näher verfolgt werden.

Von der mathematischen Logik und der mathematischen Grundlagenforschung abgesehen, versteht man üblicherweise unter einem Modell "... das Allgemeine gegenüber einem Besonderen, von dem es Modell ist" (KLAUS 1967). In der zitierten Quelle wird zum "traditionellen" Modellbegriff ausgeführt:

"Außerhalb des begrenzten Bereichs der mathematischen Logik und mathematischer Grundlagenforschung - also etwa in anderen Bereichen der Mathematik und vor allem in den Naturwissenschaften, in zunehmendem Maße aber auch auf dem Gebiete der Gesellschafts- und Bewußtseinswissenschaften - tritt der Modellbegriff im Zusammenhang mit Sachverhalten auf, die man etwa wie folgt allgemein beschreiben kann: Ein Objekt (Gegenstand, materielles oder ideelles System, Prozeß) M ist in diesem Sinne Modell, wenn zwischen M und einem anderen Objekt O Analogien bestehen, die bestimmte *Rückschlüsse* auf O gestatten" (KLAUS 1967, S. 412).

In dem durch die Kybernetik erweiterten Modellbegriff wird gefordert, daß M für ein kybernetisches System S dann Modell ist, wenn "... informationelle Beziehungen zwischen S und M dazu beitragen können, *Verhaltensweisen* von S gegenüber O zu *beeinflussen*" (KLAUS 1967, S. 413).

Für die Bestimmung des Begriffs "ökonomisches Modell" muß die Analogie zwischen M, dem Modell, und O, dem ökonomischen Objekt (Tatbestand, Prozeß), ebenfalls gefordert werden. Weiter kann festgehalten werden, daß die Objekte ökonomischer Modelle, wie eben bereits angedeutet wurde, stets ökonomische Erscheinungen sind. Wenn schließlich berücksichtigt wird, daß ökonomische Modelle in der Regel aus mathematischen Beziehungen bestehen (also mathematische Modelle, im Hinblick auf die Modellobjekte ökonomisch-mathematische Modelle sind), so kann

folgende Definition gegeben werden:

Ein ökonomisches Modell ist ein in der Regel mathematisches, analoges Abbild eines ökonomischen Objektes, welches bestimmte Rückschlüsse auf das Objekt gestattet und zu dessen Verhaltensbeschreibung eingesetzt werden kann.

Daß hier nur von bestimmten Rückschlüssen gesprochen wird, zeigt einerseits einschränkend an, daß das Modell nicht Abbild aller Eigenschaften und Merkmale des Objektes ist, sondern nur die wesentlichen Eigenschaften und Merkmale widerspiegelt. Andererseits wird damit gleichzeitig von den Besonderheiten des Einzelfalles abstrahiert und eine inhaltliche Erweiterung des Modells gegenüber dem Objekt erzielt. Die Analogie zwischen Modell M und Objekt O soll vor allem eine Verhaltens- oder Funktionsanalogie sein.

Eine andere Definition des ökonomischen Modells, die jedoch mit der obengenannten Begriffsbestimmung vereinbar ist, besteht darin, ein ökonomisches Modell als eine Klasse von Strukturen zu verstehen, wobei eine Struktur ein System von numerisch genau spezifizierten Strukturgleichungen ist. Eine Strukturgleichung wiederum wird als bestimmte Beziehung zwischen den Modellvariablen bezeichnet, in der numerisch genau spezifizierte Koeffizienten auftreten. Anders ausgedrückt: Ein Modell enthält allgemeine Zahlen als Parameter (Koeffizienten), während eine Struktur bestimmte Zahlen als Koeffizienten enthält. Damit gilt das Modell für den allgemeinen und die Struktur für den konkreten Fall. Da aber ein allgemeiner Fall viele konkrete Fälle repräsentiert, vertritt ein Modell eine große Zahl (theoretisch unendlich viele) Strukturen. Zu dem sehr einfachen (und vereinfachten) ökonomischen Modell

$$Y = a + bx \quad (1.1)$$

wäre beispielsweise

$$Y = 3,1 + 12,4 x \quad (1.2)$$

eine Struktur.

Ein Grundproblem der ökonomischen Arbeit besteht darin, die zu einem Modell gehörende "wahre Struktur" zu bestimmen. Da die hypothetisch unendlich große Zahl statistischer Ausgangsgrößen, aus der sich die wahre Struktur ergibt, nicht zur Verfügung steht, wird diese Struktur auf der Grundlage einer Stichprobe geschätzt (vgl. Anhang).

Ökonomische Modelle bestehen aus

1. Gleichungen und/oder Ungleichungen, also den mathematischen Beziehungen
2. Variablen

3. Konstanten (Koeffizienten, Parametern).

Die jeweilige Modellart wird durch den Typ der mathematischen Beziehungen und die Art der in ihnen enthaltenen Variablen bestimmt.

Die Variablen werden nach ihrer Eigenschaft und nach der Stellung im Modell unterschieden. Daraus ergibt sich

1. die Unterteilung in diskrete Variablen und
in kontinuierliche Variablen
2. die Unterteilung in endogene Variablen,
in exogene Variablen und
in latente Variablen.

Die Unterteilung in diskrete und kontinuierliche Variablen entspricht derjenigen in diskrete und kontinuierliche (stetige) Zufallsgrößen. Demnach heißt eine Variable *diskret*, wenn sie nur endlich viele oder abzählbar unendlich viele Werte anzunehmen vermag. Das bedeutet, daß sich die Werte dieser Variablen auf irgendeine Weise durchnummerieren lassen und als Folge $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$ geschrieben werden können. Beispielsweise sind Variablen in Form von Anzahlen diskrete Variablen.

Eine Variable heißt *kontinuierlich* oder *stetig*, wenn sie jeden Zahlenwert aus einem Intervall oder aus mehreren Intervallen der Zahlenachse annehmen kann. Im allgemeinen werden meßbare Größen im Modell durch stetige Variablen vertreten. Durch die mit der statistischen Auswertung von Beobachtungsdaten verbundene Klassenbildung werden stetige Variablen als quasi-diskrete Variablen betrachtet.

Von entscheidender Bedeutung für die Modelltheorie ist die Unterscheidung in endogene, exogene und latente Variablen. Dabei versteht man unter *endogenen* Variablen diejenigen, die durch das Modell erklärt werden sollen. Im Modell haben sie den Charakter von abhängigen Variablen.

Die latenten Variablen sind Ausdruck dessen, daß der "reine Zusammenhang" zwischen den endogenen Variablen und den exogenen Variablen eben durch diese latenten Variablen gestört ist. Sie heißen deshalb in der neueren ökonomischen Literatur oft Störvariablen.

Exogene Variablen sind vorgegebene Variablen, durch die endogene Variablen mittels des Modells erklärt werden. Im Modell haben sie den Charakter von unabhängigen Variablen.

Latente Variablen sind Zufallsvariablen oder Zufallsglieder in den Struktur- oder

Modellgleichungen. Sie vertreten die große Zahl der sonstigen Einflüsse, denen die endogenen Variablen unterliegen, da durch die exogenen Variablen nur die wichtigsten dieser Einflüsse angegeben werden.

Die Reaktion der endogenen Variablen kann unverzögert (also im Beeinflussungszeitraum) oder verzögert (also in einem späteren Zeitraum) erfolgen. Bei verzögerten endogenen Variablen tritt die Situation ein, daß sie zu einem späteren Zeitraum bestimmte Werte annehmen, die durch eine früher erfolgte Beeinflussung bestimmt sind. Zu diesem späteren Zeitraum sind die verzögerten endogenen Variablen vorgegeben und in diesem Sinne den exogenen Variablen vergleichbar. Sie werden auch mit diesen zu den vorherbestimmten oder *prädeterminierten* Variablen zusammengefaßt.

Wie später ausgeführt wird, ist die Unterscheidung nach endogenen und exogenen Variablen nicht immer eindeutig und nicht in allen Modellen die gleiche. Sowohl der Charakter der ökonomischen Größe, für die die Variable steht, als auch der Zusammenhang, in dem diese Größe betrachtet wird (das Modell), bestimmen darüber, welche Größe durch endogene und welche durch exogene Variablen darzustellen sind.

Neben den Modellvariablen sind in den Strukturgleichungen, Strukturen und Modellen Konstante enthalten, die die Koeffizienten des jeweiligen Gleichungssystems darstellen. Im Sinne der ökonomischen Theorie sind sie Parameter, also Größen, die unter bestimmten Bedingungen oder in bestimmten Zeitintervallen konstant sind. Solche Parameter sind beispielsweise Einsatz-Ausstoß- oder Aufwands-Ertrags-Verhältnisse einzelner Wirtschaftszweige, Betriebe oder Betriebsabteilungen. Auch die große Zahl der technisch-wissenschaftlichen Kenngrößen gehört zu den Parametern ökonomischer Modelle. Erinneert sei etwa an Größen wie Materialverbrauch einer Materialart für eine Erzeugniseinheit, Verbrauch von Maschinenstunden je Leistungseinheit und -art und ähnliche Größen. Über einen gewissen Zeitraum hin oder für bestimmte Erzeugnisse, Leistungen oder Materialarten handelt es sich um konstante Größen, die auch in den Modellen als solche verwendet werden. Im Laufe einer längeren zeitlichen Entwicklung verändern sich allerdings die Modellparameter und bedürfen dann einer Korrektur.

Modellparameter stellen statistisch betrachtet im allgemeinen Durchschnitt dar, die über mehrere Zeiträume oder über mehrere Materialarten oder über mehrere Erzeugnisse beziehungsweise Leistungen gebildet werden. Um die Verlässlichkeit der Modellresultate beurteilen zu können, ist es erforderlich, die Streuung um diese Durchschnittsparameter zu kennen. Im Zusammenhang mit der Modellschätzung sind deshalb Streuungsangaben unerlässlich (vgl. Anhang).

Auf die große Bedeutung der Statistik als entscheidende Quelle der Ökonometrie wurde bereits verwiesen. Der enge Zusammenhang der Ökonometrie mit der Statistik läßt sich besonders vorteilhaft an der Ableitung der Struktur aus dem Modell demonstrieren. Das Modell enthält, wie schon ausgeführt wurde, nur allgemeine Koeffizienten oder Parameter. Es kann somit grundsätzliches, vor allem *qualitatives* Abbild des mo-

dellierten Tatbestandes oder Prozesses sein. Folglich ist es zwar für theoretische Untersuchungen geeignet und bedeutungsvoll, vermag jedoch nicht zu numerischen Entscheidungsgrundlagen zu führen.

Die ökonomische Entscheidung bezieht sich in der Regel auf den konkreten Fall und bedarf deshalb auch konkreter Daten. Um diese Entscheidung aus dem Modell ableiten zu können, müssen zunächst die Modellparameter numerisch festgelegt werden. Dazu sind zwei grundlegende Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Es müssen Methoden zur Verfügung stehen, die es gestatten, die allgemeinen Modellparameter für den konkreten Fall numerisch zu fixieren.
2. Es müssen Ausgangsdaten vorliegen beziehungsweise beschafft werden, auf deren Grundlage die Bestimmung der Modellparameter erfolgen kann.

Die erste Voraussetzung wird durch das Vorhandensein von ökonomischen Schätzmethoden erfüllt. Auf diese Methoden wird im Anhang näher eingegangen.

Die zweite Voraussetzung wird durch die angewandte Statistik zu realisieren sein. Ausgangsdaten, die zu verkehrsökonomischen Untersuchungen benötigt werden, sind in erster Linie durch die Wirtschaftsstatistik, besonders durch die Verkehrsstatistik bereitzustellen.

Wie in Bild 1.3 veranschaulicht wird, ergibt sich das ökonomische Modell aus der ökonomischen Problemstellung und aus den mathematischen Modellierungsmitteln. Ein solches Modell ist Abbild von allgemeiner Form. Für die konkrete Entscheidung wird es anwendbar, indem es durch Aufnahme tatsächlicher (statistischer) Beobachtungsdaten zur Struktur spezifiziert wird. Man erkennt aus dem Bild, daß die Statistik nicht nur eine der theoretischen Quellen der Ökonometrie ist, sondern daß sie auch unmittelbar praktische Voraussetzungen für die Schätzung der Modellparameter und somit für die Gewinnung sowie Verwendung konkreter ökonomischer Aussagen liefert. Darin besteht die besondere Bedeutung der statistischen Information für die ökonomischen Untersuchungen. Zwischen Statistik und Ökonometrie bestehen zweiseitige aktive Beziehungen. Einerseits kann die Möglichkeit ökonomischer Forschungen durch das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein statistischer Ausgangsdaten wesentlich erweitert oder eingeengt werden, während andererseits die ökonomischen Forschungen zu Forderungen an die Statistik führen, bestimmte Daten zu erfassen und bereitzustellen.

Der Charakter des Übergangs vom generellen ökonomischen Modell zur konkreten ökonomischen Struktur wird durch Bild 1.4 verdeutlicht. Über ein (im allgemeinen ökonomisches) System S ist ein Modell M vorhanden. In dieses System führen verschiedene Einflußfaktoren oder Inputs, deren Werte in einem Vektor x zusammengefaßt sind.

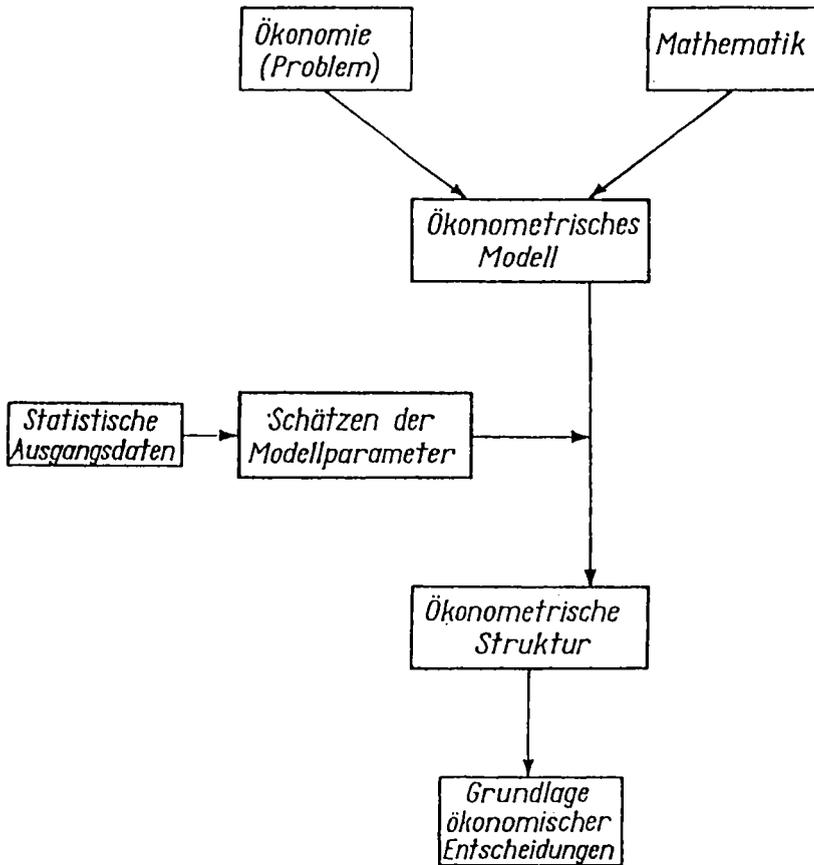


Bild 1.3 Übergang vom ökonometrischen Modell zur ökonometrischen Struktur

Diese Werte sind gleichzeitig Inputs des Modells M . Die Wirkungen des Systems S nach außen sind im Outputvektor y zusammengefasst. Um aus dem allgemeinen Modell M die ökonometrische Struktur herzuleiten, werden die tatsächlichen Werte von x und y abgegriffen und als Grundlage der Schätzung benutzt. Man erhält eine ökonometrische Struktur $Y = f(x)$, die den tatsächlichen Vorgang der Umwandlung (Transformation) der Inputs in die Outputs beschreibt. In diese Struktur $Y = f(x)$ können weitere Inputs in Form von Plan- oder Prognosegrößen eingeführt werden, aus denen die nach der ermittelten Struktur zu erwartenden Outputs Y errechnet werden können. Ein Vergleich der zu erwartenden Outputs Y mit den tatsächlichen Outputs

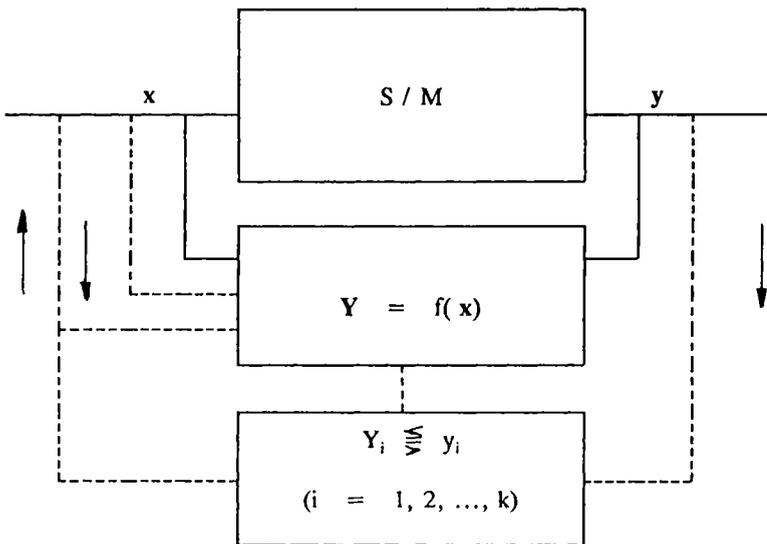


Bild 1.4 Schätzung der ökonomischen Struktur nach dem black-box-Prinzip

y liefert Anhaltspunkte sowohl für eine erforderliche Veränderung der Inputs als auch für Korrekturen des Modells und der Struktur, wodurch letztere laufend verbessert werden können. Wesentlich ist dabei, daß nach diesem Vorgehen Aussagen über das Verhalten (die Outputs) des Systems S in Abhängigkeit von seinen Inputs möglich werden, obwohl die innere Struktur des Systems unbekannt ist. Sie besitzt den Charakter eines schwarzen Kastens oder einer black box. Trotz oder vielleicht sogar auf Grund dieser Beschränkung hat sich jedoch das black-box-Prinzip bei der Untersuchung und Beurteilung komplizierter Systeme sehr gut bewährt; es erlaubt, aus der vergleichenden Auswertung von Eingangs- und Ausgangsimpulsen das mögliche Verhalten des Systems bei bestimmten Eingangsimpulsen abzuschätzen.

Die Rolle des black-box-Prinzips für die Ökonomie charakterisiert KLAUS wie folgt:

"Die Systeme der politischen Ökonomie, unsere X_i zum Beispiel sind solche "black-box", da sie in Wirklichkeit sehr viele ökonomische Vorgänge zu einem Gesamtkomplex zusammenfassen, den wir in allen Einzelheiten gar nicht berücksichtigen wollen beziehungsweise gar nicht berücksichtigen können. Es genügt uns ja aber auch, wenn wir wissen, was in einen Produktionssektor an Geld, Material, Arbeitskräften usw. eingeht und was dieser Sektor dafür liefert. Das eine ist also im Sinne der Kybernetik der Input, das andere der Output" (KLAUS 1964, S. 252).

Aber nicht nur die Beziehungen im Verflechtungsmodell haben black-box-Charakter. Die ökonomischen Abhängigkeiten, die ökonometrisch untersucht werden, werden ebenfalls als black-box-Systeme aufgefaßt. Somit verfügt man stets nur über Eingangs- und Ausgangsimpulse, aus denen diese Abhängigkeiten abgeleitet werden.

1.2 Grundformen ökonomischer Modelle

Zur Klassifizierung von ökonomischen Modellen bestehen verschiedene Möglichkeiten. Hier sollen Gliederungsprinzipien angewendet werden, die eine ökonomische Differenzierung der einzelnen Modelle gestatten. Demnach kann man ökonomische Modelle nach

- linearen und nichtlinearen Modellen
- statischen und dynamischen Modellen
- deterministischen und stochastischen Modellen sowie nach
- rekursiven und interdependenten Modellen

unterscheiden. Eine Übersicht gibt Bild 1.5.

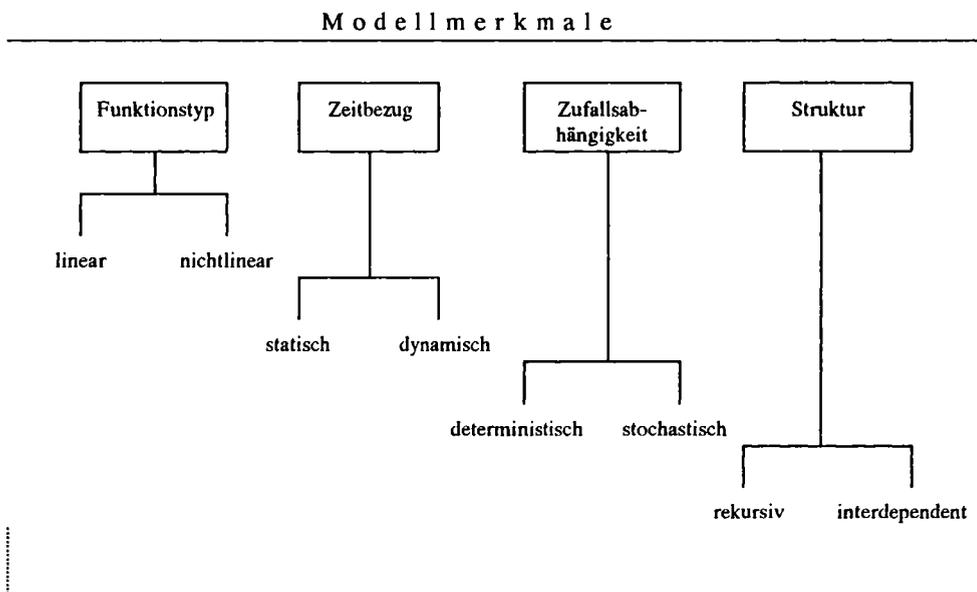


Bild 1.5 Arten ökonomischer Modelle

Die Unterscheidung nach linearen und nichtlinearen Modellen ist in dem Grad der mathematischen Beziehungen begründet, die im Modell auftreten. Handelt es sich um Beziehungen ersten Grades, also um lineare Beziehungen, dann spricht man von *linearen* Modellen. Treten aber Beziehungen anderen als ersten Grades auf, die allerdings auch gemeinsam mit Beziehungen ersten Grades in einem Modell enthalten sein können, dann spricht man von *nichtlinearen* Modellen.

Lineare Modelle werden bei ökonomischen Untersuchungen den nichtlinearen Modellen oft vorgezogen. Sie besitzen folgende Vorteile:

1. Lineare Modelle enthalten im allgemeinen Parameter, die ökonomisch sinnvoll interpretiert werden können. Diese Parameter besitzen meist den Charakter von technisch-wirtschaftlichen Kenngrößen.
2. Lineare Modelle lassen sich mathematisch wesentlich einfacher behandeln als nichtlineare Modelle.
3. Da nichtlineare Modelle durch Linearisierung näherungsweise auf lineare Modelle zurückgeführt werden können und die dabei auftretenden Linearisierungsfehler relativ gering sind, lassen sich die meisten ökonomischen Probleme durch lineare Modelle erfassen. Das schließt nicht aus, daß beispielsweise bei dynamischen Modellen ein zunächst linearer Ansatz später zu einer nichtlinearen Lösung führt. Das Prinzip der Linearisierung wird in Bild 1.6 dargestellt.

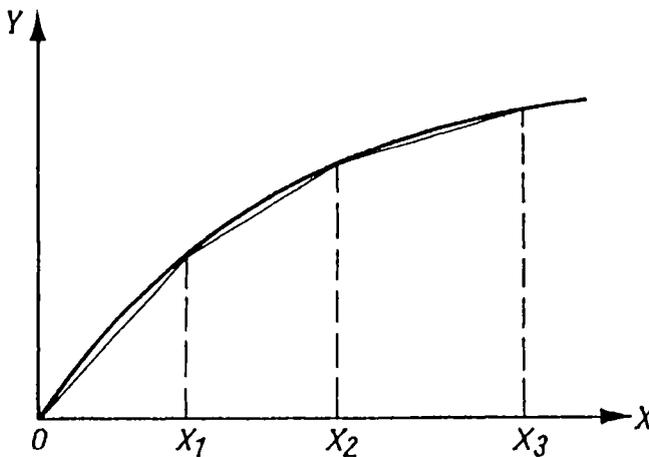


Bild 1.6 Prinzip der stückweisen Linearisierung einer nichtlinearen Beziehung

Die Verwendung linearer Beziehungen für nicht streng lineare Zusammenhänge ist zulässig, wenn

1. die De- oder Progressivität der einen Größe im Verhältnis zu der anderen Größe in dem betrachteten Bereich noch innerhalb der meß- oder erfassbaren Genauigkeitsgrenze liegt
2. die De- oder Progressivität zwar die Genauigkeitsgrenze überschreitet, aber noch innerhalb der zugelassenen Toleranzen bleibt (SEIDEL 1963).

Damit wird der Toleranzbegriff, dessen Anwendung in der Vergangenheit im allgemeinen in der Technik erfolgte, auch zu einem ökonomischen Schlüsselbegriff. Im Zusammenhang mit ökonomischen Modellen von Toleranzen zu sprechen beziehungsweise mit ihnen zu arbeiten ist sowohl aus Gründen der praktischen Modellbildung als auch der richtigen Beurteilung der durch die Modelle erzielten Ergebnisse notwendig. Zum zweiten Aspekt sind noch einige Bemerkungen erforderlich:

- a) Ein ökonomischer Prozeß sei mit P bezeichnet. Er werde beeinflusst durch drei Haupteinflußgrößen A , B und C sowie durch einen Komplex S sonstiger und im einzelnen nebensächlicher Größen. In allgemeiner Darstellung wäre

$$P = f(A, B, C, S) \quad (1.3)$$

zu schreiben. Das entsprechende Modell dieses Sachverhalts enthält gemäß den bisherigen Überlegungen nur die Haupteinflußgrößen. Man schreibt

$$P' = f(A, B, C) . \quad (1.4)$$

Wird entsprechend der zuletzt genannten Beziehung ein Prognosewert P_p' berechnet und ergibt sich nach Ablauf des Prognosezeitraumes ein tatsächlicher Wert oder Istwert P_i , so wird eine Differenz

$$\Delta P = |P_p' - P_i| \quad (1.5)$$

selbst dann eintreten, wenn die Einflußgrößen A , B und C während des Prognosezeitraumes in dem Maße gewirkt haben, wie es bei der Berechnung der Prognosegröße P_p' vorgesehen war. Diese Differenzierung resultiert daraus, daß tatsächlich noch der Komplex S wirksam war, der im Modell nicht berücksichtigt worden ist. Die Modellierung hat somit zu einer bestimmten Abweichung zwischen dem Prognosewert und dem Istwert geführt, die die Festlegung eines Toleranzbereiches erforderlich macht. Dazu werden die latenten Variablen benötigt (vgl. Anhang).

- b) Ökonometrische Modelle enthalten im allgemeinen eine große Anzahl von Koeffizienten beziehungsweise Parametern (z.B. spezifische Materialverbrauchswerte), die sowohl durch langandauernde statistische Untersuchungen ermittelt werden als auch durch technologische Vorschriften bestimmt sind. Ihrem Charakter nach sind diese Größen statistische Durchschnittswerte. In einem späteren Zeitraum können die Koeffizienten Werte annehmen, die von den im Modell verwandten Durchschnittswerten abweichen. Das ist durch die statistische Streuung hinlänglich erklärt. Damit ergibt sich ein weiterer Faktor, die zu einer Differenz zwischen P_p' und P_i führen kann.
- c) Weiter ist zu beachten, daß die Modellparameter bei Prognoseberechnungen aus dem Erfassungs- oder Bestimmungszeitraum in den Prognosezeitraum übertragen werden. Selbst Korrekturmaßnahmen werden nur ermöglichen, die

mittlere Veränderung dieser Parameter abzuschätzen, so daß auch durch die notwendige Übertragung der Daten in nachfolgende Zeiträume Veränderungen zu erwarten sind, die zum Entstehen der genannten Differenz ΔP beitragen.

- d) Schließlich ergibt sich eine weitere Ursache für diese Differenz durch die numerische Lösung des Modells. Die große Ausdehnung ökonomischer Modelle, z.B. bei der Darstellung von Verflechtungen, führt zu umfangreichen Gleichungs- beziehungsweise Ungleichungssystemen mit sehr vielen Koeffizienten. Die numerische Lösung solcher Systeme kann zu erheblichen Fehlern im Endresultat führen, die auf den Rundungen der Zwischenresultate basieren.

Bei der praktischen Anwendung ökonomischer Modelle wirken diese Ursachen gemeinsam, wenn auch von Fall zu Fall mit unterschiedlicher Intensität.

Neben der Unterscheidung in lineare und nichtlineare Modelle wurde weiterhin die in *statische* und *dynamische* Modelle angeführt. Eine klare Definition gibt TINBERGEN unter Berufung auf *Ragnar FRISCH*, indem er feststellt: Man kann

"... von dynamischer Forschung (gemeint ist Forschung auf dem Gebiet der Ökonometrie, d. Verf.) nur dann sprechen, wenn eine Beziehung zwischen wirtschaftlichen Phänomenen, die verschiedenen Zeitmomenten angehören, gesucht wird" (TINBERGEN 1952).

Gehören die zu betrachtenden Phänomene, deren Beziehung gesucht wird, gleichen Zeitpunkten oder Zeiträumen an, so ist die Untersuchung statisch, und das zugehörige Modell ist ein statisches Modell. Werden im Modell dagegen Beziehungen zwischen wirtschaftlichen Sachverhalten dargestellt, die verschiedenen Zeitpunkten oder Zeiträumen angehören, so wird von einem dynamischen Modell gesprochen. Bei statischen Modellen können aber durchaus mehrere Zeitmomente auftreten. Sofern die in Beziehung stehenden Größen jeweils dem gleichen Zeitpunkt zugeordnet sind, bleibt das Modell statisch. Wenn also z.B. die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Betriebsleistung der Eisenbahn untersucht wird, und dafür Messungen aus verschiedenen Zeiträumen vorliegen, handelt es sich trotzdem nicht um ein dynamisches Modell, weil der Energieverbrauch aus der Betriebsleistung des gleichen Zeitraumes erklärt wird (vgl. RICHTER/FISCHER 1961).

Dagegen werden Modelle dynamischen Charakters dann benötigt, wenn beispielsweise die Beziehungen zwischen den Investitionen eines gegebenen Zeitraumes und dem daraus resultierenden Produktionsumfang in einem nachfolgenden Zeitraum erfaßt werden sollen. Zur grafischen Darstellung statischer und dynamischer Zusammenhänge eignet sich das Pfeilschema (vgl. TINBERGEN 1952).

Nach dieser Darstellungsweise ist in Bild 1.7 ein statisches Modell mit den Variablen A, B, C und D wiedergegeben.

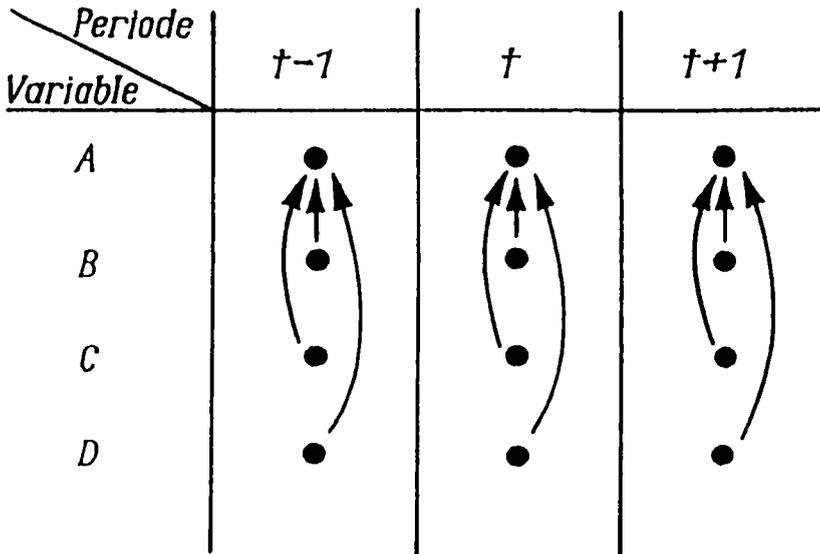


Bild 1.7 Pfeilschema eines statischen Modells

Im Gegensatz zu den statischen Modellen wird bei den *dynamischen* Modellen der Einfluß der Zeit berücksichtigt. Dazu bestehen verschiedene Möglichkeiten, die nachstehend in einer von der Quelle abweichenden Form angeführt werden (vgl. z.B. MENGES 1961):

1. Eine Variable ist eine Funktion der Zeit in der Form

$$Y_t = Y_t(t). \quad (1.6)$$

2. Eine Variable hängt von ihren in den Vorperioden angenommenen eigenen Werten ab, etwa nach der Beziehung

$$Y_t = Y_t(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots). \quad (1.7)$$

In diesem Falle sind die Variablenwerte autokorrelativ verbunden.

3. Eine Variable hängt von den Werten einer anderen Variablen in der Vorperiode oder in den Vorperioden ab. In dem in Bild 1.8 skizzierten dynamischen Modell dieses Typs gilt beispielsweise u. a. auch (mit geänderten Symbolen)

$$Y_t = Y_t(X_{t-1}), \quad (1.8)$$

wobei die Zeiger der Zeitperiode ($t, t - 1, \dots$) im Bild nicht bei den Variablen, sondern über der zweiten bis vierten Spalte stehen.

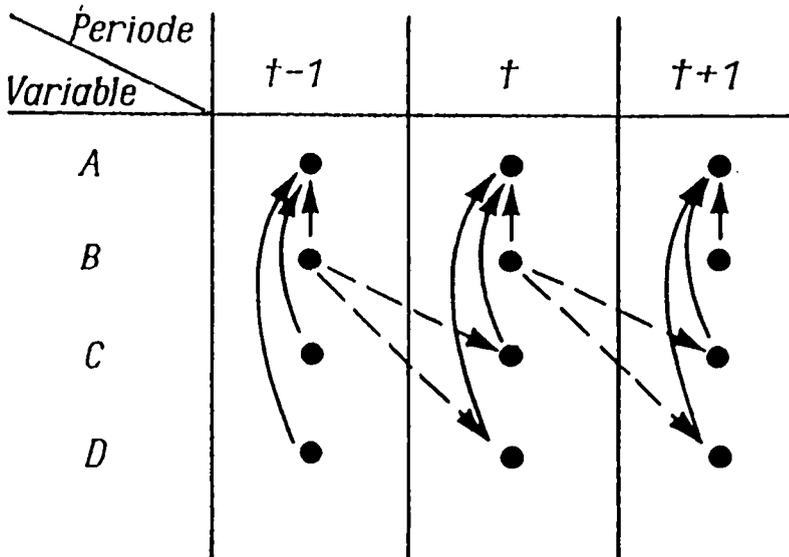


Bild 1.8 Pfeilschema eines dynamischen Modells

4. Eine Variable hängt von der Geschwindigkeit der zeitlichen Veränderung einer anderen Variablen ab. Wird diese zeitliche Veränderung durch ΔX ausgedrückt, so ist

$$Y_t = Y_t(\Delta X) \quad (1.9)$$

5. Eine Variable hängt ab von der zeitlichen Kumulation einer anderen Variablen, also von der Summe der Werte dieser anderen Variablen in den Vorperioden:

$$Y_t = Y_t\left(\sum_{i=1}^k X_{t-i}\right) \quad (1.10)$$

Üblicherweise werden also Zeitverzögerungen im dynamischen Modell angenommen. Dagegen wird das Vorauslaufen von Variablen, das auch berücksichtigt werden könnte, kaum als Grundlage dynamischer Modelle verwendet. Zeitverzögerungen bedeuten, daß die Ursachen für ein Resultat in der Periode t in früheren Perioden liegen. Diese Ursachen wirken verzögert, also mit einem Lag (auch time lag) der Größe τ , die natürlich von Fall zu Fall unterschiedlich sein kann.

Die Gesamtheit aller Zeitperioden, die in einem Modell in der Zeitperiode t zu berücksichtigen sind, nennt man den *zeitlichen Horizont* des Modells. Dieser zeitliche Horizont umfaßt bei statischen Modellen eben nur eine einzige Periode, nämlich die Periode t selbst, für die auch das Modell gilt.

Zweifellos sind dynamische Modelle den tatsächlichen ökonomischen Verhältnissen besser angepaßt als statische Modelle. Die Schwierigkeiten ihrer Aufstellung, insbesondere auch der zutreffenden Bestimmung der zeitlichen Verzögerungen, haben jedoch dazu geführt, daß zunächst mit der Aufstellung statischer Modelle begonnen wurde, die später schrittweise zu dynamischen Modellen weiterentwickelt wurden und werden.

In Kapitel 5. wird ein spezielles dynamisches Modell dargestellt, das auf dem Input-Output-Modell beruht.

Die Unterscheidung nach deterministischen und stochastischen Modellen wird von der Existenz oder Nichtexistenz latenter Variablen in den Modellen abhängig gemacht. Demnach wird von einem *deterministischen* Modell gesprochen, wenn dieses Modell nur determinierte Größen und Beziehungen enthält.

In einem deterministischen Modell treten keine zufälligen, also auch keine latenten Variablen auf. Schon infolge des Modellierungsprinzips, nur die wichtigsten Beziehungen im Modell zu erfassen, werden jedoch immer weitere Einflußfaktoren wirksam sein, die zu Abweichungen zwischen den Modellresultaten deterministischer Modelle und der (stochastischen) Wirklichkeit führen.

In *stochastischen* Modellen ist die Wirkung dieser sonstigen Einflüsse durch die latenten Variablen erfaßt. Ihre Benutzung hat zur Folge, daß für die Modellresultate Schätzintervalle angegeben werden, die die zu erwartenden Werte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einschließen, oder daß jene Modellparameter aus den statistischen Ausgangsgrößen geschätzt werden, denen die größte Wahrscheinlichkeit zukommt.

In seinem Vorwort zu LANGE, Ganzheit und Entwicklung in kybernetischer Sicht (LANGE 1966), bemerkt KLAUS dazu:

"Die ... Beschränkung auf determinierte Systeme bedeutet also aus den verschiedensten Gründen keine Einschränkung der Allgemeinheit. Wenngleich, gewissermaßen 'in letzter Instanz', alle materiellen Systeme stochastischer Natur sind, so hat die Wissenschaft doch vielerlei Methoden und Verfahren ausgearbeitet, die es gestatten, die Betrachtung solcher Systeme durch die Analyse von Systemen zu ersetzen, die determinierten Charakter haben und deren Verhalten sich von denen entsprechender stochastischer Systeme so wenig unterscheidet, daß die Differenz für den jeweiligen praktischen Fall belanglos wird" (KLAUS 1966, S. X).

Ungeachtet dieser für die Systeme getroffenen Feststellung enthält die ökonomische

Standardgleichung immer auch eine latente Variable (Störvariable) und somit eine stochastische Komponente (vgl. Anhang). Über die Verteilung dieser Variablen ist eine Annahme zu treffen. Erst dieser Ansatz gestattet es überhaupt, die Modellparameter aus den statistischen Daten zu schätzen. In Modellen jedoch, deren Koeffizienten auf andere Weise als durch statistische Schätzung bestimmt werden können, werden latente Variablen nicht benötigt.

Die Unterscheidung nach rekursiven und interdependenten Modellen richtet sich nach der Art der Abhängigkeit zwischen den Variablen während einer Zeitperiode. Sie kann deshalb sowohl an statischen wie auch an dynamischen Modellen demonstriert werden.

Von einem *rekursiven* Modell spricht man, wenn innerhalb einer Zeitperiode nur einseitig gerichtete Abhängigkeiten zwischen den Variablen auftreten. Dieser Fall tritt beispielsweise bei Korrelationsmodellen als Regelfall auf. Ein rekursives Modell wurde in Bild 1.7 als Pfeilschema veranschaulicht.

Ein *interdependentes* Modell liegt vor, wenn innerhalb einer Zeitperiode gegenseitig (entgegengesetzt) gerichtete Beziehungen zwischen den Modellvariablen auftreten.

Dieser Fall tritt beispielsweise bei Input-Output-Modellen auf. Bild 1.9 zeigt das entsprechende Pfeilschema.

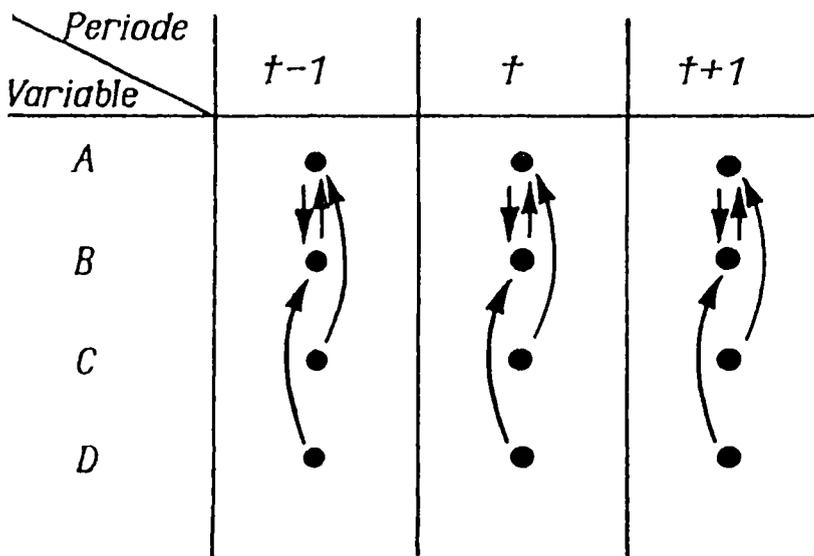


Bild 1.9

Pfeilschema eines interdependenten Modells

Die Unterscheidung nach rekursiven und interdependenten Modellen hängt oft von der Betrachtungsweise oder dem Untersuchungsziel ab. Praktisch wird man eher interdependente als rekursive Abhängigkeiten finden, doch können einzelne der gegenseitigen Beziehungen so schwach sein, daß der mathematisch einfachere Ansatz eines rekursiven Modells vertreten werden kann.

Die genannte Unterscheidung ist weiterhin für die Schätzung der Werte für die Modellparameter (Übergang vom Modell zur Struktur) von Bedeutung. Bei rekursiven Modellen kann man dazu die Schätzmethode der kleinsten Quadratsumme verwenden. Liegen interdependente Abhängigkeiten vor, so muß zur Schätzung die Methode der größten Dichte (Maximum-Likelihood-Methode) - kurz ML-Methode - verwendet werden (vgl. Anhang).

Die Vielfalt der möglichen Funktionen und Funktionstypen in ökonomischen Modellen ist beachtlich, wie ein Blick in die bereits zitierte Literatur zeigt. Im einfachsten Fall besteht ein ökonomisches Modell aus

- einer endogenen Variablen Y
- einer exogenen Variablen X und
- einer latenten Variablen U

sowie dem time lag τ und dem Intensitätskoeffizienten ϵ . Es lautet dann in allgemeiner Form

$$Y = f(X; U | \tau, \epsilon), \quad (1.11)$$

kann aber auch als

$$Y_t = a + bx'_{t-\tau} + U_t \quad (1.12)$$

geschrieben werden. Für

$$\begin{aligned} \tau &= 0 \\ \text{und} \\ \epsilon &= 1 \end{aligned}$$

entsteht aus (1.12) das einfache lineare Modell

$$Y_t = a + bx_t + u_t. \quad (1.13)$$

Aus dieser Grundform werden auch kompliziertere ökonomische Modelle zusammengesetzt.

1.3 Verkehrsstrommatrix als Strukturrahmen

In der Verkehrsökonomie, allgemeiner im Rahmen der quantitativen Verkehrsforschung, kommt der Verkehrsstrommatrix ein herausragender Platz zu. Nicht zuletzt deshalb unterscheidet sich die Verkehrsökonomie von allen anderen Arten der angewandten Ökonomie.

Die Verkehrsstrommatrix ist die wichtigste Art der Verkehrsmatrix (vgl. RICHTER 1977). Indem sie die Hauptfunktion allen Verkehrs, die Veränderung des örtlichen Daseins von Personen, Gütern und Nachrichten, abbildet, liefert sie die Grundlage für viele auf dieser Abbildung beruhenden Modelle.

Der Aufbau der Verkehrsstrommatrix in Tabellenform wird durch Tabelle 1.1 wiedergegeben. Die entscheidenden Bestandteile dieser Tabelle sind

- die Verkehrsquellen, aus denen die Verkehrsströme hervorkommen,
- die Verkehrssenken, in die die Verkehrsströme fließen, und
- die Verbindungen zwischen den Verkehrsquellen und den Verkehrssenken, die mit den Mengen der Verkehrsobjekte belegt sind.

Tabelle 1.1 Aufbau der Verkehrsstrommatrix

	S_1	S_2	S_p	QM
Q_1	(M_{ij})			QM ₁
Q_2				QM ₂
Q_p				QM _p
SM	SM ₁	SM ₂	SM _p	

Legende:

$Q_1 \dots Q_p$	p	Verkehrsquellen
$S_1 \dots S_p$	p	Verkehrssenken
QM ₁ ... QM _p	p	Quellmengen
SM ₁ ... SM _p	p	Senkmengen
$M_{ij} \dots$	p^2	Verkehrsstromwerte

Die Quellmengen werden auch als Aufkommensmengen, die Senkmengen als Zuflüßmengen bezeichnet.

Tabelle 1.1 ist quadratisch strukturiert, weil davon ausgegangen wird, daß jede regionale Einheit sowohl Quelle als auch Senke von Verkehrsströmen sein kann. Es können jedoch auch nichtquadratische Verkehrsstrommatrizen aufgebaut werden.

Die Verkehrsstrommatrix ist zunächst der strukturelle Rahmen für die Abbildung von Verkehrsprozessen. Auf dieser Grundlage werden jedoch unterschiedliche verkehrsökonomische Modelle entwickelt, die vor allem der Vorausberechnung von Verkehrsströmen dienen. Indirekt einbezogen ist hierbei auch die Bestimmung des Modal Split. Wichtig ist weiterhin die mögliche Ermittlung des Grades der Organisation in einem regional strukturierten System, die auf der Grundlage der Verkehrsströme erfolgt. Räumliche Strukturen können unterschiedlich stark ausgeformt sein, je nachdem, wie gleichmäßig oder ungleichmäßig die Verkehrsströme ausgeprägt sind. Die Verkehrsstrommatrix stellt damit eine Beziehung zwischen der Verkehrsökonomie und der Regionalökonomie dar.

1.4 Zusammenfassung

Das ökonomische Modell vereint als mathematische Abbildung eines ökonomischen Sachverhalts, deren numerische Struktur aus statistischen Daten bestimmt wird, die konstituierenden Elemente der Ökonometrie, nämlich Ökonomie, Mathematik und Statistik. Durch das ökonomische Modell werden Variablen und Konstanten miteinander verknüpft. Variable treten als endogene oder zu erklärende Variablen, als exogene oder erklärende Variablen und als latente oder Störvariablen auf. Die Konstanten, meist als Koeffizienten bzw. Parameter, bestimmen die numerischen Größenbeziehungen zwischen den Variablen. Sofern diese Konstanten als allgemeine Zahlen vorliegen, spricht man vom ökonomischen Modell. Nachdem die Konstanten aus statistischen Daten hergeleitet, im allgemeinen statistisch geschätzt wurden, ist das ökonomische Modell in die ökonomische Struktur überführt worden.

Ökonomische Modelle werden auf mehrfache Weise klassifiziert. Nach dem Funktionstyp unterscheidet man lineare und nichtlineare Modelle, nach dem Zeitbezug (der Dynamik) gibt es statische und dynamische Modelle, nach der Zufallsabhängigkeit wird in deterministische und in stochastische Modelle unterschieden, und nach der Abhängigkeitsstruktur existieren rekursive und interdependente Modelle.

Für die Verkehrsökonomie als einer angewandten Ökonomie liefert die Verkehrsstrommatrix den strukturellen Rahmen für eine ganze Modellklasse, die der Spezifik des Verkehrs entspricht.

2. Statistische Grundlagen

2.1 Gegenstand der multivariaten Analyse

Verkehr, Verkehrsentwicklung und Verkehrsfolgen werden in der Politik, in der Wirtschaft und in der Öffentlichkeit intensiv und nicht selten mit sehr kontroversen Standpunkten erörtert. Die Absicht, eine sogenannte optimale Verkehrslösung anzustreben, wird dabei allgemein bekundet. Bei näherem Hinsehen erweist sich aber Optimalität in diesem Zusammenhang als ein sehr unscharfer Begriff im Sinne der Fuzzy-Theorie, weil die an der Auseinandersetzung beteiligten Gruppen in der Regel unterschiedliche Ziele verfolgen oder zumindest bevorzugen. Da aber Verkehr ein Phänomen mit einer sehr großen Zahl von Merkmalen ist und diese Merkmale einerseits zur Bestimmung von Zielen und andererseits zur Festlegung von Grenzwerten bzw. Restriktionen herangezogen werden können, muß eine optimale Verkehrslösung immer eine multikriterielle Lösung und somit eine Kompromißlösung sein (ESTER 1987).

Die Eigenschaft, Träger einer großen Merkmalsmenge zu sein, haftet dem Verkehr und seinen unterschiedlichen Erscheinungsformen grundsätzlich an. Sie gilt für Verkehrsunternehmen, Verkehrsverbünde, Verkehrsnetze und -systeme und Verkehrsregionen gleichermaßen. Aus diesem Grunde muß die Verkehrsanalyse, insbesondere die verkehrswirtschaftliche Analyse, von der Akzeptanz der Merkmalsvielfalt ausgehen. Dennoch werden die dafür von der Statistik angebotenen Verfahren der Multivariaten Analyse (MVA) in der quantitativen Verkehrsforschung bisher noch ziemlich selten angewandt. Eine relativ frühe Ausnahme stellt die Untersuchung von Verkehrszellen durch MIKUS dar, der Bild 2.1 entnommen wurde (MIKUS 1974).

Die MVA hat sich in der jüngeren Vergangenheit zu einem eigenständigen Zweig der Statistik entwickelt (STEINHAUSEN/LANGE 1977; ECKES/ROßBACH 1980; FAHRMEIR/HAMERLE 1984; BACKHAUS 1989; HARTUNG/ELPELT 1989; LÜTKEPOHL 1991). Ihre nutzbringende Anwendung setzt natürlich die Kenntnis der statistischen Grundlagen voraus, die z.B. in (RICHTER 1978; HOCHSTÄDTER 1987; MAYER 1988; BAMBERG/BAUR 1989 und PINNEKAMP/SIEGMANN 1993) beschrieben sind.

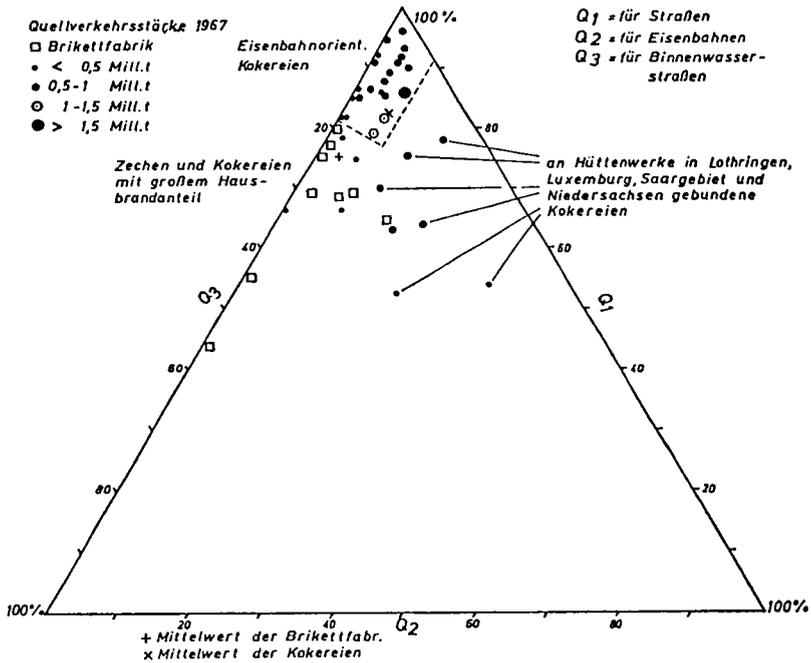


Bild 2.1 Der Quellverkehr der Kokereien und Brikettfabriken des Ruhrreviers nach der Quellverkehrsstärke und dem Anteil der Verkehrswege 1967 (aus MIXUS 1974, S. 40)

2.2 Datenmatrix

Die Grundlage der multivariaten statistischen Operationen ist die Datenmatrix (Matrix der Ausgangsdaten), die ihrerseits auf zwei Grundbegriffen beruht.

Die Datenmatrix X wird

- in den Zeilen nach den Untersuchungsgegenständen, den sogenannten Objekten, und
- in den Spalten nach den Untersuchungsmerkmalen (kurz: Merkmalen) bzw. Variablen

gegliedert.

Verkehrswirtschaftliche Objekte sind beispielsweise Verkehrsunternehmen oder Verkehrsregionen. Zugehörige Merkmale bzw. Variablen können die angebotene Verkehrskapazität, der Fahrzeugbestand oder der Verkehrserschließungsgrad sein.

Es wird davon ausgegangen, daß

- n Objekte O_i , $i = 1(1)n$ existieren, von denen jedes Objekt
- p Merkmale trägt, die durch p Variablen X_j , $j = 1(1)p$ bezeichnet werden.

Die Ausprägung (der Meßwert) des Merkmals bzw. der Variablen X_j m Objekt O_i heißt x_{ij} .

Damit lautet die Datenmatrix der *Ausgangsdaten*:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2p} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Die verkürzte Schreibweise ergibt:

$$\mathbf{X} = (x_{ij})_{n,p} \quad (2.2)$$

In der praktischen statistischen Analyse wird die Darstellung der Datenmatrix als Tabelle bevorzugt. In dieser Tabelle können gegenüber \mathbf{X} zusätzliche Informationen aufgenommen werden, wie die Tabelle 2.1 veranschaulicht.

Die Datenmatrix \mathbf{X} kann in Zeilenvektoren und in Spaltenvektoren zerlegt werden, das heißt entweder als Spaltenvektor von Zeilenvektoren oder als Zeilenvektor von Spaltenvektoren, geschrieben werden. Ein Zeilenvektor enthält alle Daten, die zu einem Objekt in der Matrix enthalten sind. Ein Spaltenvektor enthält alle Daten einer Variablen, die zu allen Objekten in der Matrix stehen. Ergänzt man den Spaltenvektor um die jeweiligen Angaben der letzten vier Zeilen in Tabelle 2.1; also um

- das arithmetische Mittel
- die Standardabweichung
- den Minimalwert und
- den Maximalwert,

Tabelle 2.1 Ergänzte Datenmatrix

Objekte	Merkmale/Variablen				
	X ₁	X ₂	X ₃	X _p
O ₁	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃		x _{1p}
O ₂	x ₂₁	x ₂₂	x ₂₃		x _{2p}
O ₃	x ₃₁	x ₃₂	x ₃₃		x _{3p}

O _n	x _{n1}	x _{n2}	x _{n3}	x _{np}
\bar{x}_j					
s(x) _j					
x(min) _j					
x(max) _j					

so stellt er eine eindimensionale statistische Verteilung des betrachteten Merkmals dar. Eine Datenmatrix **X** enthält somit immer p eindimensionale Verteilungen.

Bild 2.2 stellt das Prinzip der Datenmatrix schematisch dar.

Um zu erkennen, welche der in die Analyse einbezogenen Variablen in einem engeren Zusammenhang stehen und welche nahezu unabhängig voneinander sind, wird die Korrelationsmatrix **R** als

$$R = (r_{kl})_{p,p} \tag{2.3}$$

bestimmt. Die Zeiger k und l stehen für j, den Index der Variablen. Die Matrix ist quadratisch und kann wegen

$$r_{kk} = 1 \quad (\text{Autokorrelation}) \tag{2.4}$$

und

$$r_{kl} = r_{lk} \quad (\text{Symmetrieeigenschaft}) \tag{2.5}$$

		Merkmale			
		1	2	3 p
O b j e k t e n	1				
	2				
	3				
	.				
	.				
	.				
	.				
	.				
	.				
	n				

Bild 2.2 Prinzip der Datenmatrix

als Dreiecksmatrix geschrieben werden:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & \dots & r_{1p} \\ & 1 & r_{23} & r_{24} & \dots & r_{2p} \\ & & 1 & r_{34} & \dots & r_{3p} \\ & & & 1 & \dots & r_{4p} \\ & & & & \dots & r_{5p} \\ & & & & & \dots \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Die Korrelationsmatrix sollte bei der Modellaufstellung stets herangezogen werden, wenn mehr als zwei Variablen verfügbar sind. Sie ermöglicht es, die verschiedenen Kombinationen von endogenen und exogenen Variablen nach der Strenge des Zusammenhangs zu ordnen. Stehen zur Erklärung einer endogenen Variablen Y mehrere exogene Variablen $X_1 \dots X_p$ zur Verfügung und kann somit unter Einbeziehung einer latenten Variablen U ein Modell

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_p; U) \quad (2.7)$$

entwickelt werden, so lassen sich die exogenen Variablen nach der fallenden Stärke ihrer Korrelation mit Y ordnen. Weiter kann ein Grenzwert für den Korrelationsko-